

# A VEGETÁCIÓ SZEREPE A BUDAPEST-HEGYVIDÉK VÁROSI HŐSZIGET JELENSÉGÉBEN

Fricke Cathy<sup>1</sup>, Pongrácz Rita<sup>2</sup>, Dezső Zsuzsanna<sup>3</sup>, Bartholy Judit<sup>4</sup>

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, email: 1.[frcsaat@caesar.elte.hu](mailto:frcsaat@caesar.elte.hu), 2.[prita@nimbus.elte.hu](mailto:prita@nimbus.elte.hu), 3.[tante@nimbus.elte.hu](mailto:tante@nimbus.elte.hu), 4.[bartholy@caesar.elte.hu](mailto:bartholy@caesar.elte.hu)

## Összefoglalás

Budapest XII. kerülete ideális felszínül szolgál a vegetáció és a domborzati viszonyok városi hőszigetre gyakorolt hatásainak megfigyelésére. Termikus elemzéseink során a MODIS szenzor felszínhőmérsékleti adatait és az ebből származtatott hősziget-intenzitási értékeket használtuk fel. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a növényzet, illetve a domborzat hősziget-módosító hatásai a tavaszi-nyári időszak nappali óráiban a legszembetűnőbbek.

**Kulcsszók:** felszínhőmérséklet, városklíma, hősziget intenzitás, MODIS szenzor, domborzat

## Bevezetés

A városi hősziget egy olyan mezoskálájú éghajlati rendszer, melyet a városi környezet által keltett helyi, illetve mikroklimatikus hatások összessége határoz meg; és több szempontból eltérést mutat a várost körülvevő makroskálájú környezet éghajlati viszonyaihoz képest (Probáld, 1974). A mezoklíma ilyen jellegű módosulását az adott térségre jellemző energiaegyenleg összetevőinek lokális megváltozása idézi elő, mely hatással van a különböző klímáparaméterek – így például a felszínhőmérséklet – alakulására. A városi hősziget vizsgálatához kezdetben csak állomási mérések álltak rendelkezésre, majd a műholdas távérzékelés elterjedésével lehetővé vált a városok termikus jellemzőinek átfogó vizsgálata is. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem látványosi kampuszán 2002-ben létesített műholdvevő állomás nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a Meteorológiai Tanszék is ilyen műholdas méréseken alapuló városklíma-kutatásokat végezzen (Kern et al., 2005).

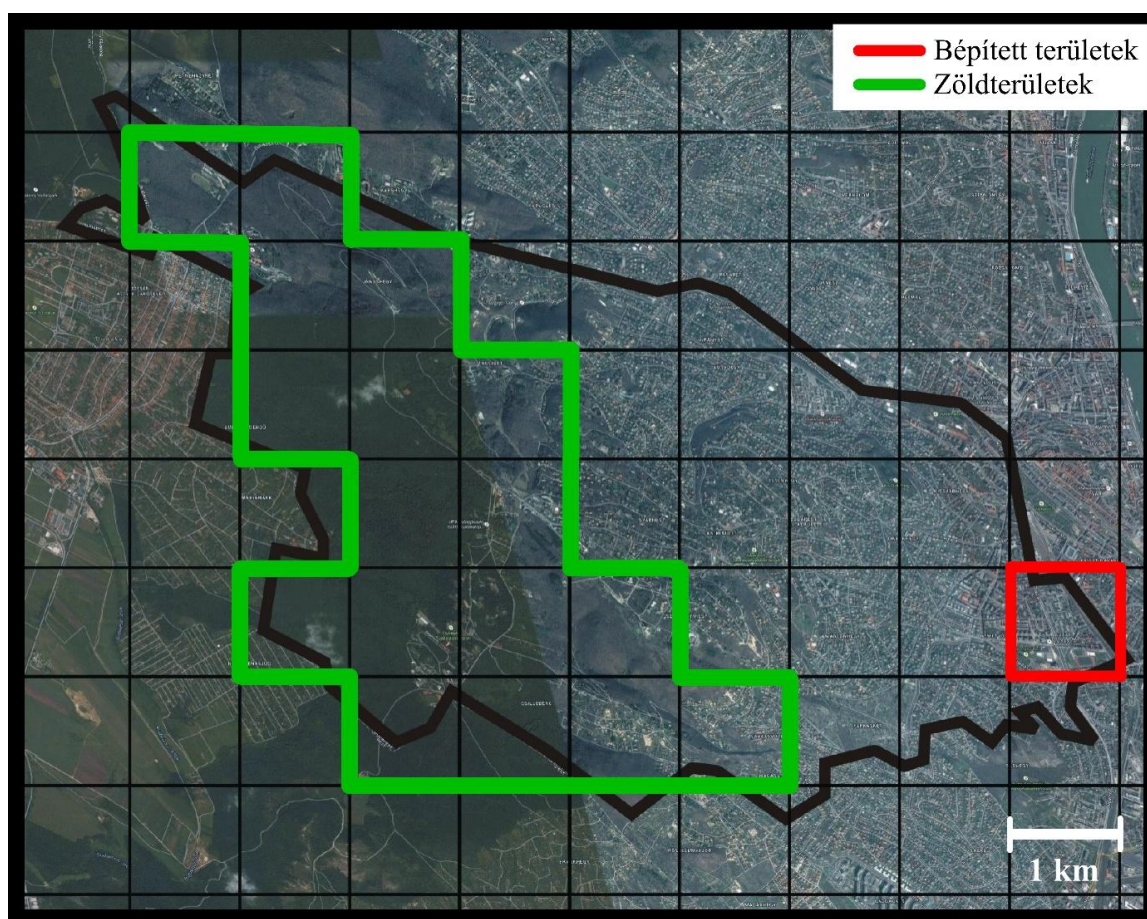
A műholdas adatok segítségével Közép-Európa nagyvárosairól (Pongrácz et al, 2010), illetve Magyarország tíz legnagyobb városáról (Dezső et al., 2005), köztük Budapestről (Dezső et al, 2012; Pongrácz et al., 2006) is születtek a városi hősziget szerkezetét kutató tanulmányok. Jelen vizsgálatainkat Budapest XII. kerületére szűkítettük le, amely sajátos szerepet tölt be fővárosunk éghajlatában. A kerület jelentős részét képezik a Budai-hegyvidék fővárosba ékelődő vonulatai, amelyet összefüggő erdőség borít. A kerületben a növényzet mellett a domborzati viszonyok éghajlatra gyakorolt hatása is számottevő, így ideális helyszínt nyújt a klímamódosító hatások tanulmányozásra. A városökológiai szempontból kiemelkedő jelentőséggel bíró erdős területek – amellet, hogy kirándulók kedvelt célpontja – kedvező feltételeket nyújtottak kórházak és szanatóriumok létesítésére. Az erdővel borított hegyvonulatok a hegy-völgyi légáramláson keresztül a főváros légcserejéhez is jelentősen hozzájárulnak.

## Adatok és módszerek

A XII. kerület városklimatológiai elemzéséhez az amerikai NASA által 1999-ben, illetve 2002-ben pályára állított Terra és Aqua kvázipoláris kutató műholdakon elhelyezett MODIS szenzor felszínhőmérsékleti adatait és az ebből származtatott hősziget intenzitási

értékeket használtuk fel. A hősziget intenzitás értéke a korábbi kutatásokban alkalmazott módszer alapján (Dezső et al., 2012) a városi képpontok felszínhőmérsékletének és a városkörnyéki átlagos felszínhőmérsékletnek a különbsége. A műholdas megfigyelésekből 2001 és 2002 során még csak napi kettő – délelőtt és este –, 2003 és 2013 között már potenciálisan napi négy – délelőtt, délután, este és hajnalban készült – mérés állt rendelkezésünkre. Az erre az időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti és intenzitási értékek havi átlagolásával tanulmányozni tudtuk a XII. kerület hőszigetének és az azt módosító hatásoknak a térbeli és időbeli változását.

Vizsgálataink során először lehatároltuk a kerülethez tartozó  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ -es rácscellákat, majd a Google Earth nagyfelbontású műholdképekei alapján meghatároztuk a kerületen belül az összehasonlítani kívánt, különböző felszíntípushoz tartozó kategóriákat: a beépített-, illetve a zöldterületeket (1. ábra). A sűrűn beépített területekhez a keskeny utcákkal tagolt, több szintes épületekből álló belvárosi részt soroltuk, ahol rendkívül alacsony a növényzettel borítottság aránya. A zöldterületek kategóriájába az olyan összefüggő növényzettel rendelkező területek tartoznak, mint a külterületi rétek, illetve összefüggő erdőségek.



1. ábra: A XII. kerület megjelenése a Google Earth műholdképen, s az ez alapján a MODIS – rácson definiált beépített és zöldterületek elhelyezkedése

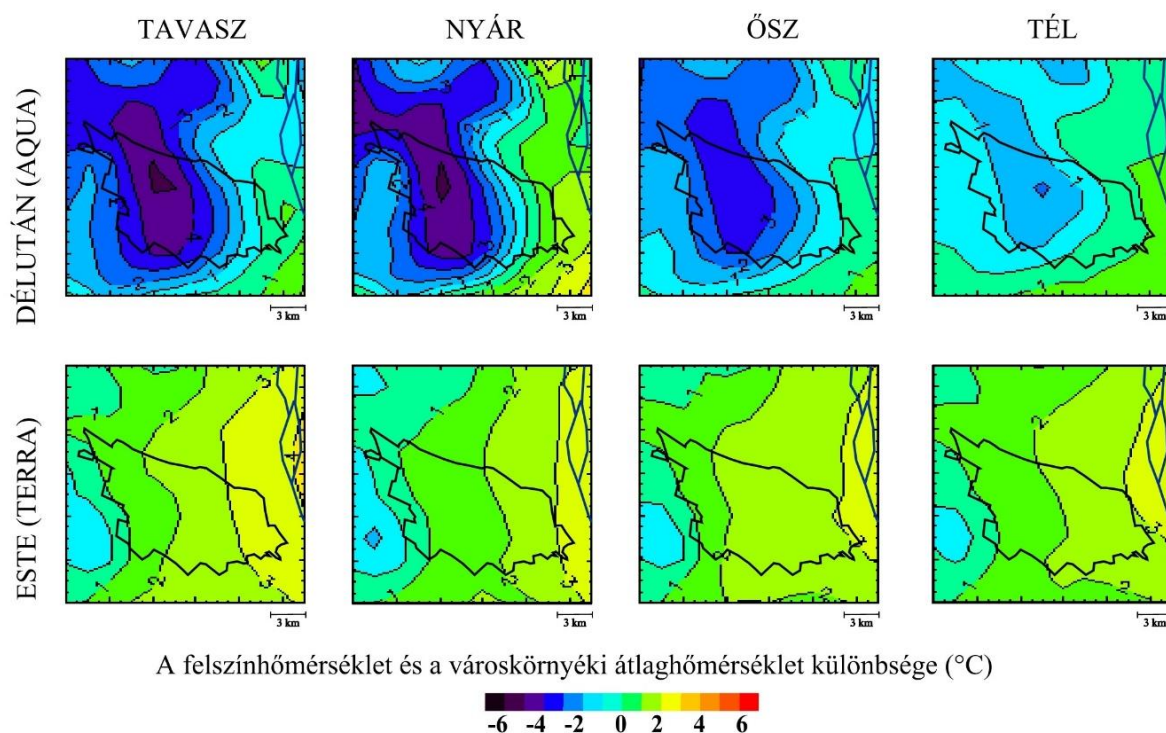
## Eredmények

A műholdas mérések lehetővé teszik a felszínhőmérsékleten alapuló hősziget térbeli szerkezetének és időbeli változásának részletes elemzését. A hősziget XII. kerületen belüli

átlagos évszakos térbeli eloszlását a 2. ábra illusztrálja. A budapesti hősziget magja a pesti oldalon helyezkedik el. Így a kerületben a hősziget városperem felé fokozatosan gyengülő intenzitását figyelhetjük meg, melyhez részben hozzájárul még a domborzat hatása és a zöldterületek nagyobb aránya. A tavaszi-nyári délutáni időszakot tekintve a Budai-hegység erdővel borított, hidegebb felszínhőmérsékleti régiói – melyek még a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is átlagosan 4-5 °C-kal hidegebbek – erőteljesen kirajzolódnak. Ebben az időszakban a kerületen belül a városi és a hegyvidéki jellegű területek között 8 °C átlagos hőmérsékletkülönbség is kialakulhat.

Az éjszakai órákban a hősziget szerkezete jelentősen eltér a nappaltól. A hajnali és késő esti műholdmérésekből származtatott térképek jóval kisebb mértékű éven belül ingadozást mutatnak. Ezek közül az általánosan kisebb különbségeket figyelembe véve a legnagyobb átlagos hősziget-intenzitás – mely meghaladja a 3 °C-ot – az esti órákban figyelhető meg a tavaszi hónapokban.

Egész évre jellemző, hogy a nappali órákban a kerület általában hűvösebb a városkörnyéki területeknél, az éjszakai órákban viszont pozitív (kb. 2 °C-os) hőmérsékleti anomália észlelhető, vagyis a Budai-hegyek melegebbek a városkörnyékhez viszonyítva.

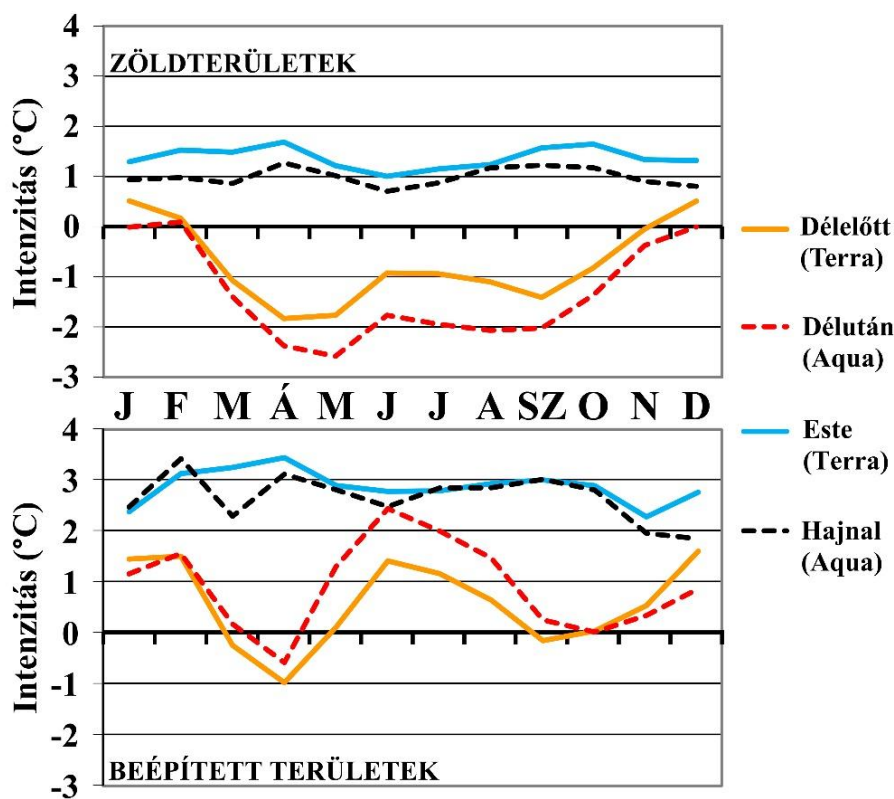


2. ábra: A városi hősziget átlagos évszakos szerkezete a XII. kerületben a Terra/MODIS 2001-2013, és az Aqua/MODIS 2003-2013 időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti mérései alapján

A beépített területeken a délutáni órák hősziget-intenzitásának maximuma (2,5 °C) nyáron (júniusban) jelentkezik a városi területeken (3. ábra), amely a fokozottabb rövid-hullámú besugárzással hozható kapcsolatba. A júniusi maximum mellett a nappali görbék éves menetét tekintve egy második, alacsonyabb (1,5 °C) mértékű maximum is megfigyelhető februárban. Ebben a hónapban a hajnali órákban mért intenzitásokra is az átlagértékhez képest magasabb anomáliaérték jellemző. A beépített területeken a nappali átlagos intenzitást tekintve áprilisban és az őszi hónapokban (szeptember, október) városi hőtöbblet nem figyelhető meg, sőt áprilisban a felszínhőmérséklet átlagosan 1 °C-kal hűvösebb a



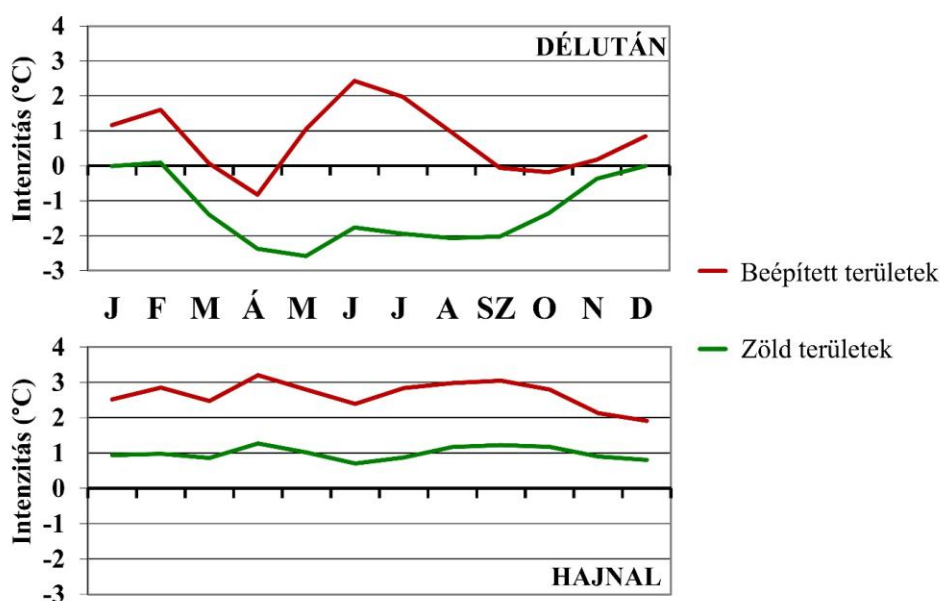
városkörnyéki átlaghőmérsékletnél. A beépített területeken egész évben 3 °C körüli intenzitás volt jellemző az esti órákban.



3. ábra: A beépített és zöldterületek átlagos hősziget-intenzitásainak jellemző éves menete a különböző napszakokban

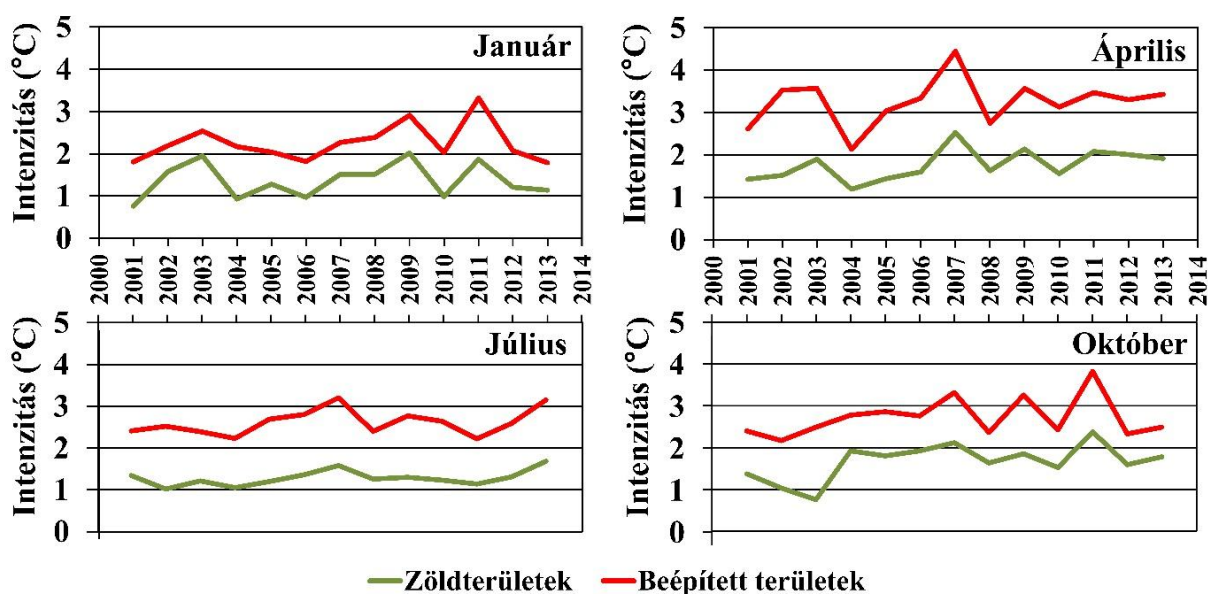
A zöldterületek nappal mért átlagos intenzitásának éves menetében májusi minimum látható (4. ábra). Ezt követően a nyári hónapokban – a beépített területekkel szemben – nem figyelhető meg jelentős intenzitás-növekedés. Tehát a beépített területekhez képest egész évben jóval gyengébb intenzitás figyelhető meg, ami arra vezethető vissza, hogy az év jelentős részében a látens hőáram játszik fontos szerepet a terület energia-kicserélődési folyamataiban. A zöldterületeken a nappali órákban mért átlagos intenzitás értékei télen a legmagasabbak – ekkor nem negatív a hősziget-intenzitás. Ez azzal magyarázható, hogy télen, amikor a talaj fagyott vagy hóval borított, az energiaegyenleg összes összetevője szenzibilis hővé alakul át, amely hővezetéssel a fákat vagy konvekcióval a légkört melegíti (Unger és Sümeghy, 2002). Az éjszakai órákban végzett mérésekből meghatározott hősziget hatás évi ingadozása a nappalihoz képest jóval kisebb mértékű. Ennek oka, hogy az ehhez a napszakhoz tartozó sugárzási egyenleget csak a bejövő és a kimenő hosszuhullámú sugárzás határozza meg, mely nem olyan változékony, mint a rövidhullámú sugárzás. Ezért éjjel a felszín-hőmérsékleti görbék amplitúdója is gyengébb.

Az esti órákban mért intenzitások általában meghaladják a hajnali órákét, ám a különbség csekély, nem haladja meg a 0,5 °C-ot. Az éjszakai órákban mért intenzitásértékek a terület egészére vonatkozóan jóval meghaladták a nappali intenzitásokat. A két napszakra vonatkozó intenzitások legnagyobb eltérése – mely a 3 °C-ot is meghaladta – áprilisban volt megfigyelhető.



4. ábra: Beépített és zöldterületek havi átlagos hősziget-intenzitásainak jellemző éves menete 2003-2013 időszakban Aqua/MODIS mérések alapján

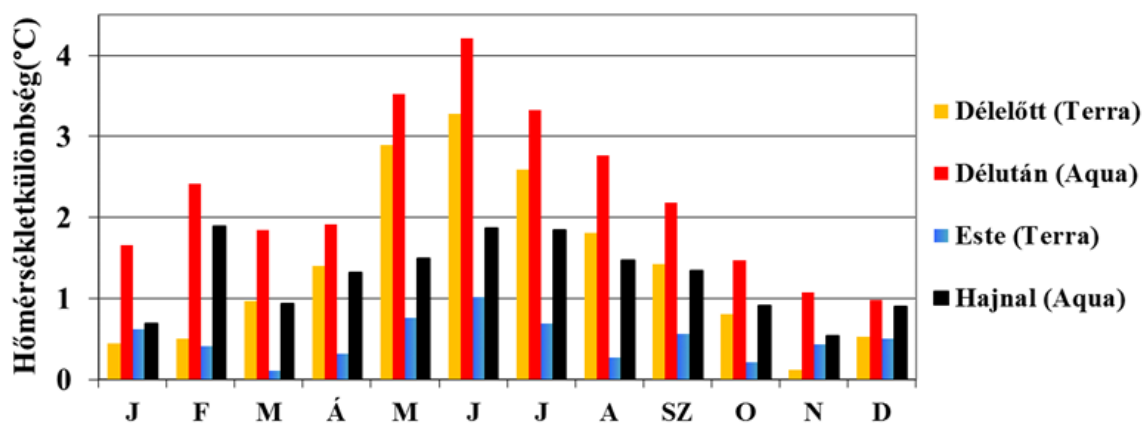
A beépített és az erdős területek átlagos intenzitásai közötti legnagyobb különbség nyáron a délutáni órákban látható, ekkor kb. 4 °C eltérés volt tapasztalható. A zöld területeken a délelőtti intenzitás átlagos értékei 1 °C-kal meghaladták a délutáni átlagos intenzitást, a beépített területen pedig fordított volt a helyzet. Ez részben azzal magyarázható, hogy az erdős területek felmelegedésének az alacsonyabb szögben beérkező rövidhullámú sugárzás, míg a nagyobb beépítettségű városi területeken az összetett, akadályt képező objektumok miatt a felszínhőmérséklet emelkedésének a magasabb napállás kedvez. A kapott eredmények egyben azt is jelzik, hogy a rövidhullámú besugárzás növekedésével arányosan növekszik a vegetáció mérséklő, illetve a beépített területek városi hőszigetet erősítő hatása.



5. ábra: Beépített és zöld területek esti hősziget-intenzitása Terra/MODIS mérések alapján

Az eddigiek alapján látható, hogy a beépített és az erdővel borított területek felszínhőmérsékleti intenzitásai a vizsgált napszaktól függően különböző erősségűek lehetnek. Az 5. ábrán e két terület esti intenzitásainak teljes 2001-2013 időszakra vonatkozó idősorait az évszakok középső hónapjaira jelenítettük meg. Az esti intenzitások értékeit vizsgálva megállapítható, hogy a legtöbb hónapban a beépített és a zöld területek görbéi közel párhuzamosan futnak, tehát az évek során közel azonos intenzitás-különbség tapasztalható a két terület között. A tavaszi-nyári időszakban ez mintegy 2 °C-os, míg az őszi hónapokban kb. 1-1,5 °C-os eltérést jelent.

Vizsgálataink során a domborzati hatások megjelenését is elemeztük. Ehhez. a zöld területi osztályba sorolt rácscellák közül kiválasztottunk egy magasabban (424 m) és egy alacsonyabban fekvő (171 m) rácscellát, melyek összehasonlításával a domborzati viszonyok hatását értékeltük. A két cella felszínhőmérsékleti értékeinek átlagos különbségét összegző 6. ábra alapján megállapítható, hogy a legnagyobb eltérés leginkább a délutáni órákra jellemző.



6. ábra: Hegytetőn (424m), illetve völgyben (171m) felvő cellák átlagos havi felszínhőmérsékletének különbségei a zöld területeken a különböző napszakokban

Emellett a délelőtti órákban is viszonylag nagy átlagos felszínhőmérsékleti eltérések tapasztalhatók. Tehát a különbségek a rövidhullámú besugárzás változásával állnak szoros kapcsolatban. Jelentős eltérés (3-4 °C) leginkább a májustól júliusig tartó nyár eleji időszakban mutatható ki. Megfigyelhető továbbá, hogy a hajnali és a délutáni órákban detektálható átlagos felszínhőmérséklet-különbség mintegy 1-1,5 °C-kal nagyobb, mint a kora esti és a délelőtti órákban.

## Összegzés

Vizsgálataink során az Aqua és Terra műholdon elhelyezett MODIS szenzorral végzett mérésekből származtatott felszínhőmérsékleti adatokat felhasználva termikus elemzést készítettünk Budapest tüdejének méltán nevezhető kerületről, a Hegyvidékről. A Google Earth finomfelbontású műholdképei segítségével elhatároltuk a kerületen belül különböző sajátosságokkal rendelkező, összehasonlítani kívánt beépített és zöldterületeket. A különböző sugárzási tulajdonságokkal rendelkező területeken leginkább a vegetáció, illetve a domborzati viszonyok hatása volt szembevetendő. Elemzéseink során kapott eredményeink alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- A Budai-hegyvidék hűvösebb területei és a beépített területek tavaszi-nyári időszak nappali óráiban mért átlagos intenzitási értékei között akár 8 °C különbség is

megfigyelhető volt. A kerületen belüli jelentős anomáliaértéket az eredményezi, hogy a hegyvidéki területek felszínhőmérséklete a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is alacsonyabb, míg a beépített területek felszínhőmérsékletében a városi területekre jellemző hőtöbblet észlelhető.

- A kerület hősziget-intenzitásának napszakoktól függő változását vizsgálva megállapítható, hogy a nappali órákban a kerület jelentős erdős részére negatív, illetve az éjszakai órákban pozitív intenzitási értékek jellemzők.
- Az átlagos nappali intenzitás havi átlagainak éves menetét tekintve a beépített területeken júniusi maximum (2,5 °C) volt megfigyelhető. Ezzel szemben az erdős területeken az eltérő energiaegyenlegből adódóan a májusi minimumot követően egész év folyamán a beépített területekhez képest jóval alacsonyabban alakult az egyes hónapok átlagos intenzitása. Az erdős és a beépített területek átlagos intenzitása közötti különbség a nyári hónapok nappali időszakában volt a legnagyobb (4 °C).
- Az eltérő tengerszint feletti magasságú területek átlagos felszínhőmérsékletének különbségeit vizsgálva, a jelentősebb domborzati hatás a délutáni órákban, leginkább májustól júliusig (3-4 °C) volt tapasztalható.
- Az alacsonyabban fekvő területek havi átlagos hősziget-intenzitásai általában pozitív értéket vettek fel, míg a magasabban fekvő területek felszínhőmérséklete minden évben alacsonyabb volt a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél.

**Köszönetnyilvánítás.** A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis előállítása és rendelkezésre bocsátása az amerikai NASA-nak köszönhető, melyhez a Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontján keresztül jutottunk hozzá. A dolgozat keretében végzett kutatásokat támogatta az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ\_12-1-2013-0001), az OTKA K-109109 számú kutatás és az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja.

## Irodalomjegyzék

- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás*, 109, 217–232.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., Lelovics E., 2012: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján. *Légkör*, 57, 170-173.
- Kern A., Bartholy J., Pongrácz R., 2005: Az ELTE Környezetfizikai Tanszékcsoport műholdvevő állomása. *Légkör*, 50, 18-21.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs., 2006: Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research*, 37, 2191-2196.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs., 2010: Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics and Chemistry of Earth*, 35, 95–99.
- Probáld F., 1974: Budapest városklímája. Akadémiai Kiadó, Budapest. 126p.
- Unger J., Sümeghy Z., 2002: Környezeti klimatológia. Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged. 202p.